

ALVARO DOUBEK  
eng civil

# UMA BASE DE AFERIÇÃO

TESE DE GRAU DE  
MESTRE EM CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS U.F.P.

CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM CIENCIAS GEODESICAS

CURITIBA - AGOSTO - 1974

ÁLVARO DOUBEK  
Engenheiro Civil

UMA BASE DE AFERIÇÃO

Tese de Grau de Mestre  
em Ciências

Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Tecnológicas  
Departamento de Geociências  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS  
Curitiba, agosto de 1974

## AGRADECIMENTO

O autor deseja manifestar seus melhores agradecimentos aos professores, colegas e amigos; ao Inter American Geodetic Survey, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Fundação Instituto de Terras e Cartografia, Instituto de Pesquisas e Planejamento Urbano de Curitiba, e, Aerosul que contribuíram para a consecução deste empreendimento, pois tem plena consciência de que sem o pronto auxílio e excepcional boa vontade sempre demonstrados por todos aos quais foi pedir colaboração direta ou indireta, seria impossível chegar ao final deste trabalho.

É também com grande satisfação que agradece as sugestões dos Professores:

Petrus Richardus, PhD da Universidade Agrícola de Wageningen, Holanda, especialista em Levantamentos Eletrônicos.

Urho Uotila, PhD da Ohio State University, U.S.A., especialista em Ajustamentos.

Camil Gemael, Doutor da Universidade Federal do Paraná, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

José Bittencourt de Andrade, Mestre em Ciências Geodésicas.

Placidino Machado Fagundes, Chefe do Departamento de Cartografia da Universidade do Estado da Guanabara.

Agradece, também, penhoradamente, ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico pelo suporte financeiro.

## R E S U M O

O presente trabalho mostra, com riqueza de por menores, como foi feita a medição de uma base, com dois quilôme tros de comprimento, materializada por sete marcos de concreto implantados no terreno.

Indica os resultados obtidos após ajustamento em que foram usadas medidas diretas com fitas de Invar e um distanciômetro eletrônico que utiliza a luz como onda portado - ra, permitindo uma correção na sua constante instrumental.

Indica ainda, parcialmente, os resultados obtido dos com outros distanciômetros utilizados diretamente sobre a base e a partir de uma posição afastada, tornando possível pro ceder a uma verificação diferencial da precisão das medidas.

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit zeigt mit vielen Einzelheiten, wie die Messung einer Basis von zwei Km Länge, die an sieben Punkten mit Beton vermarktet war, durchgeführt wurde.

Sie zeigt die Ergebnisse durch direkte Messungen mit Invarbändern und einem elektronischen Entfernungsmesser, der mit Licht als tragende Welle funktioniert, und somit eine Korrektur seiner instrumentalen Konstante erlaubt.

Teilweise werden hier auch die Ergebnisse gezeigt, die durch direkt auf der Basis durchgeführten Messungen von einem entfernten Standpunkt aus mit anderen Entfernungsmessern erzielt wurden; es war also möglich, zu einer differenzierten Feststellung über die Genauigkeit der Maße zu gelangen.

## A B S T R A C T

This work shows with a great number of details how the measurement of a two kilometer long base was made, considering the seven concreted positions on the terrain.

It shows the results obtained after an adjustment in which were used direct measurements with invar tapes and an electronic measuring device that employs visible light as carrier wave, allowing a correction of its instrumental constant.

Besides that it partially indicates the results obtained with other measuring devices applied directly on the base and from a removed position with which it was possible to obtain a differential verification as to the accuracy of the measurements.

## S U M Á R I O

Título	i
Agradecimento	ii
Resumo	iii
Zusammenfassung	iv
Abstract	v
Sumário	vi
I - INTRODUÇÃO	1
II - MEDIÇÃO DA BASE COM FITAS DE INVAR	5
Equipamento e acessórios	5
Operações de campo	6
Correções nas medidas	7
Valores encontrados entre os marcos concretados	15
III - EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS UTILIZADOS NA MEDIÇÃO DA BASE	25
Geodímetro modelo 6 A	25
Distomat modelo DI-10	26
Telurômetro modelo MRA-101	27
IV - MEDIÇÃO DA BASE COM MICRO-ONDAS	30
Equipamento utilizado	30
Técnica de medição	30
Cálculos	32
Resultados	34

V	- MEDIÇÃO DA BASE COM RADIAÇÕES LUMINOSAS	37
	Equipamento utilizado	37
	Técnica de medição	37
	Cálculos	38
	Resultados	41
VI	- MEDIÇÃO COM RADIAÇÕES INFRA-VERMELHAS	43
	Equipamento utilizado	43
	Técnica de medição	43
	Cálculos	44
	Resultados	45
VII	- NIVELAMENTO	46
	Nivelamento geométrico (da base)	46
	Nivelamento trigonométrico (do ponto afastado)	49
VIII	- COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	55
	Geodímetro	55
	Ajustamento das medidas com Invar e com o geodímetro	56
	Aplicação à base medida	58
	Valores ajustados	64
	Telurômetro	65
IX	- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	69
	Conclusões	68
	Recomendações	70
X	- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71



## I INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da utilização dos equipamentos eletrônicos de medida de distância ou mesmo de ângulos, a ponto de quase todos os órgãos do governo e empresas particulares possuírem um ou mais conjuntos de equipamentos, e isso considerando desde pequenas firmas de topografia até as grandes empresas de mapeamento do país, e tendo ainda na lembrança as grandes dificuldades que tivemos durante nossa permanência como chefe da Seção de Levantamentos do extinto Departamento de Geografia, Terras e Colonização do Estado do Paraná, julgamos ser de grande utilidade implantar, nas proximidades da cidade de Curitiba, uma base para aferições.

Sem considerar o processo de interferência da luz, utilizado nas bases medidas pelo método idealizado por Väisälä, a nosso ver de implantação difícilíssima na região de Curitiba, por não existirem áreas planas adequadas e de alta estabilidade como as formações de morenas, o processo direto de medição, ou seja, a utilização de fitas de Invar, devidamente aferidas, continua sendo o procedimento que proporciona maior precisão à medida de uma distância.

Uma das maiores dificuldades iniciais, com que nos defrontamos para atingir nosso objetivo, foi a de encontrar um local adequado para a implantação dos marcos, ou seja:

- a) Terreno plano para não dificultar as medidas com fitas de Invar.
- b) Boa visibilidade entre os marcos.
- c) Fácil acesso.

Estudando os mapas topográficos do município de Curitiba e bem assim as fotografias aéreas do projeto AST-10 , chegamos à conclusão, depois de várias verificações "in loco" , que a melhor região seria a situada lateralmente à rodovia 277, ligando Curitiba a Paranaguá, apesar do terreno ser de várzea e não oferecer, por conseguinte, características ideais de estabilidade.

Por outro lado, a conformação da área escolhida é ligeiramente côncava, conforme pode ser observado pelo levantamento geométrico e respectivo perfil (com grande exagero na escala vertical) mostrado na pag. 49, o que evita, em parte, a reflexão das micro-ondas, no solo, quando utilizado o equipamento correspondente.

Constituem prediados, ainda, da área escolhida , a sua proximidade do Centro Politécnico, o que praticamente eliminou o tempo perdido em deslocamentos, e a sua localização em zona de baixa densidade demográfica, o que, de certa maneira , reduz a um mínimo o vandalismo em relação aos marcos, problema bastante comum nas zonas mais habitadas e bem conhecido dos que se dedicam a trabalhos geodésicos de campo.

A conformação do terreno escolhido permitiu, ainda, a implantação de um outro marco, distante aproximadamente - 10 km do primeiro, e na mesma direção da base medida com Invar. Com isso, foi possível efetuar uma verificação diferencial, ou seja, diferenças de distâncias do marco remoto para os marcos da base.

Teoricamente, as diferenças de distâncias para os diversos marcos, obtidas com distanciômetros eletrônicos, deveriam reproduzir a medida direta entre os mesmos.

Aparentemente, a pequena distância medida com fitas de Invar somente serviria para uma aferição de equipamen-

to a base de infra-vermelho, para os quais os 2 km representam quase sempre o máximo alcance; mas, se for levado em conta que os distanciômetros eletrônicos que funcionam com micro-ondas como onda portadora, medem, em geral, distâncias a partir de 100 m, e os que funcionam com a luz, como onda portadora, medem, em geral, distâncias a partir de 15m, a base medida, diretamente, pode ser utilizada mais como uma verificação dos erros instru-  
mentais internos dos distanciômetros eletrônicos, pois a influência das condições atmosféricas é mínima para distâncias -  
tão curtas.

Por outro lado, com a verificação diferencial, podem ser melhor observados os efeitos da atmosfera, ou seja, melhor detectados os erros externos.

A intenção original foi a de efetuar observações em condições atmosféricas distintas e, assim, verificar o comportamento dos distanciômetros eletrônicos\* mas, por outro lado, qualquer entidade que venha a ocupar os pontos para efetuar uma verificação no seu equipamento, fará as medições normais - sem considerar as condições ideais de medição, qualquer que seja o instrumental utilizado.

Por esta razão, as medições realizadas com os distanciômetros o foram seguindo as recomendações dos fabricantes, e as distâncias foram medidas mais de uma vez, o que permitiu uma melhor análise dos resultados.

---

\* É nossa intenção, efetuar, no futuro, como uma complementação ao presente trabalho, um estudo mais profundo da influência das condições atmosféricas nas medições.

Resumindo, o presente trabalho tem dupla finalidade:

- Uma, essencialmente prática, permitindo que qualquer entidade possa verificar o seu equipamento.
- Outra, representando uma primeira contribuição de resultados obtidos com tres instrumentos que exploram as faixas do espectro eletromagnético mais utilizadas atualmente: luz visível, infravermelho e micro-ondas.

## II MEDIDA DA BASE COM FITAS DE INVAR

A base medida com fitas de Invar, representa, no presente trabalho, a operação de maior importância, por constituir o padrão de aferição, razão pela qual todos os trabalhos de medição de campo e cálculos de escritório, foram executados de acordo com as especificações objeto das referências [7] e [8], que consideram o seguinte:

### 1 - Equipamento e acessórios

- 1.1 - 4 fitas de Invar de 50m
- 1.2 - 2 dinamômetros com capacidade de medida de 15 kg x 20 g.
- 1.3 - 1 padrão de aferição de 15 kg.
- 1.4 - 2 tensores de fitas.
- 1.5 - 1 polia para aferição dos dinamômetros.
- 1.6 - 2 termômetros com possibilidade de estimativa da leitura de  $0,1^{\circ}\text{C}$ .
- 1.7 - 1 teodolito.
- 1.8 - 1 nível de luneta.
- 1.9 - 2 miras de madeira.
- 1.10- chapas de cobre.
- 1.11- estiletes.

- 1.12 - escalas de precisão.
- 1.13 - tripês e berços.
- 1.14 - adaptadores para as chapas de cobre.
- 1.15 - estações de madeira.

## 2 - Operações de campo

- 2.1 - comprimento total da base, dividido em seções de ~ 1 km.
- 2.2 - cada seção medida em ida e volta com fitas diferentes.
- 2.3 - inclinações do terreno inferiores a 10%.
- 2.4 - alinhamento com erro inferior a 2,5 cm.
- 2.5 - estacas de 10 x 10 x 160 cm, aflorando em média 70 cm.  
Estacas intermediárias de 2,5 x 10 x 160 cm.
- 2.6 - Tiras de cobre para marcação dos extremos da fita com dimensões de 1 x 8 x 0,05 cm.
- 2.7 - dinamômetros aferidos diariamente.
- 2.8 - leitura dos termômetros com estimativa de 0,1°C.
- 2.9 - base nivelada por procedimento geométrico.
- 2.10- medições nos dois sentidos, em condições atmosféricas diferentes.
- 2.11- medições com ausência de ventos fortes.
- 2.12- durante os deslocamentos, as fitas não tocam o solo ou as estacas.
- 2.13- depois de desenroladas, as fitas permanecem 20 minutos no local para adaptação à temperatura ambiente.

### 3 - Correções nas medidas

3.1 - redução ao horizonte

3.2 - correção de temperatura

Com a imposição oriunda das estações concreta - das, diversas pequenas modificações foram introduzidas nas medições, seja para obter comprimentos intermediários, seja para aumentar de alguma maneira a precisão nos comprimentos finais.

Assim, as medições foram realizadas considerando o seguinte:

#### 1 - Equipamento e acessórios

- (1.1) - 4 fitas de Invar de 50 m, nº<sup>S</sup> 3830 , 4104, 4620 e 4101, fabricados pela Keuffel & Esser.
- (1.2) - 2 dinamômetros com capacidade de medição de 15 kg x 20 g, da "Detecto Scales".
- (1.3) - 2 padrões de aferição de 15 kg.
- (1.4) - 2 tensores de fitas.
- (1.5) - 2 polias para aferição dos dinamômetros.
- (1.6) - 2 termômetros nº 38563 A e 42478 A, da H. Green, graduados em °C.
- (1.7) - Teodolito Wild T-2 nº 92706.
- (1.8) - Nível de luneta Kern GK0 nº 108484.
- (1.9) - 2 miras de encaixe, invertidas, de madeira Rosenhain.
- (1.10) - chapas de cobre.
- (1.11) - estiletes.
- (1.12) - escala triangular Archimedes.

- (1.13) - tripês Wild e Zeiss com os respectivos berços.
- (1.14) - adaptadores de ferro com suporte de madeira para as chapas de cobre, com possibilidade de adaptação em berços Wild ou Zeiss.
- (1.15) - estações de madeira.

#### Operações de campo

- (2.1) - A base foi dividida em 3 seções, com comprimentos de 600, 700 e 700 m, por imposição dos pontos concretados, ficando , assim, no primeiro trecho, 4 marcos, no segundo, 3 marcos e no terceiro, 2 marcos, incluídos os extremos.
- (2.2) - Para a obtenção de uma melhor média , cada seção foi medida quatro vezes usando, cada vez, uma fita diferente.  
Por outro lado, de conformidade com os certificados de aferição (exemplo no anexo 1, pag. 20), a calibração das fitas , efetuada pelo "National Bureau of Standards", em setembro de 1969, não corresponde ao período ideal de utilização que seria de 6 meses após a aferição.
- (2.3) - A área escolhida para a implantação da base é praticamente plana, com desníveis de 2% e tendo em média inclinações de 0,12%.



(2.4) - O alinhamento das chapas de cobre foi obtido com teodolito Wild T-2, usado em posições distantes de até 400 m, com pontaria para o centro de uma balisa metálica.

Para facilidade do operador da balisa, foi utilizado outro elemento da equipe de medição, usando binóculo para melhor visualização dos comandos de alinhamento dados pelo operador do teodolito.

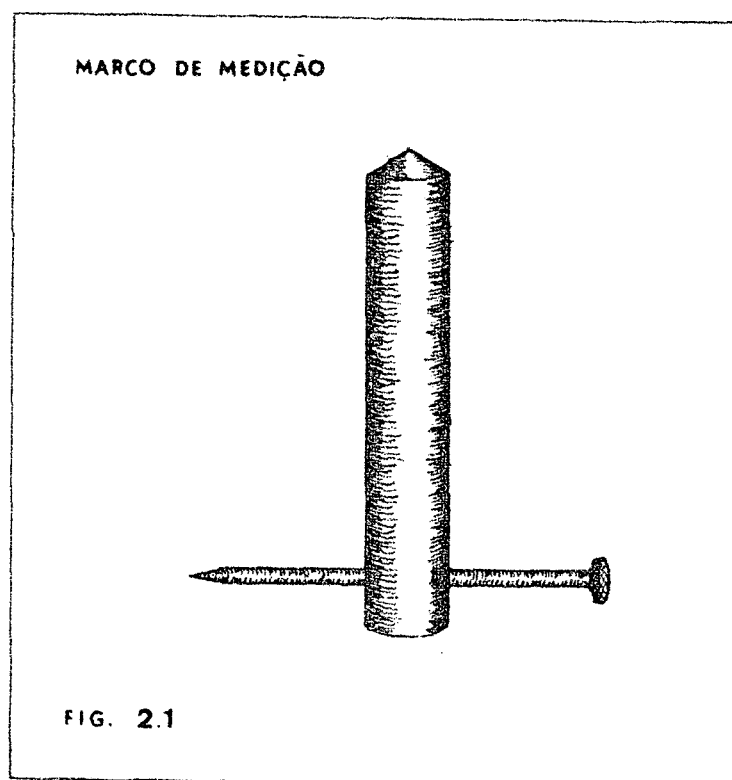
(2.5) - Estações de imbuia e canela de 8 x 8 x 160 cm, cravados, em média, 110 cm. Para facilitar a cravação e, por outro lado, não afetar demasiadamente a parte superior da estação, foi confeccionado um trado com diâmetro de 6 cm, que retirando parte do material do solo anteriormente ocupado pela estação, facilitou, em grande parte, a cravação dos mesmos com marreta.

Suportes intermediários de pinho de 2,5 x 7,5 x 160 cm cravados no solo, lateralmente ao alinhamento, permitiram a fixação de pregos, nos 25m, (meio comprimento de fita) com grande facilidade.

(2.6) - Tiras de cobre para marcação dos extremos da fita com dimensões de 1 x 7 x 0,05 cm.

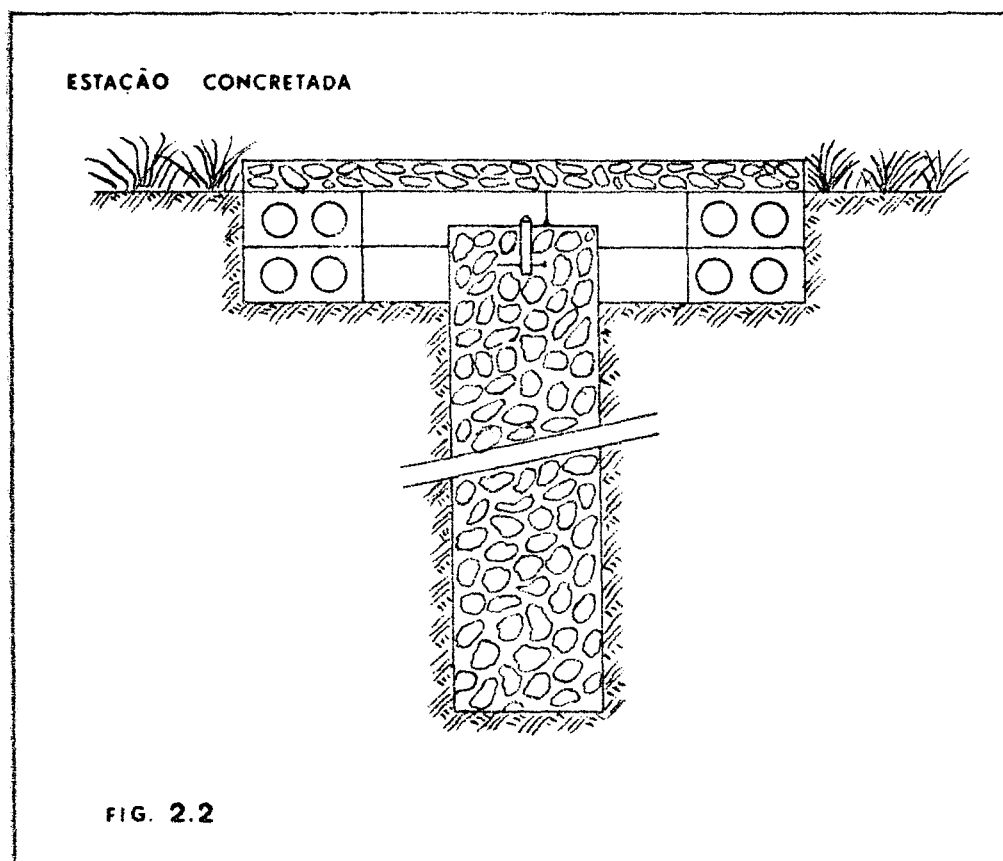
- (2.7) - Os dinamômetros utilizados nas medidas foram aferidos, diariamente, antes e depois das operações de medição de campo, e não acusaram alterações.
- (2.8) - Medição da temperatura, com estimativa dos  $0,1^{\circ}\text{C}$ , segurando a fita em pontos afastados dos termômetros e sem aproximar demasiadamente o rosto, para evitar alterações na medida devidas à respiração.
- (2.9) - Para a obtenção dos desníveis dos lances, foi utilizado equipamento topográfico, isto é, nível de luneta comum e miras de madeira, sendo que a discrepância, por lance de 50 m, entre nivelamento e contranivelamento, não ultrapassou os 2mm.
- A caderneta utilizada (anexo 2, pag. - 22) permitiu a definição do valor da leitura no ponto de suporte da posição central da fita.
- (2.10) - As medições dos diversos trechos foram feitas em sequência, sem levar em conta um maior intervalo de tempo para modificações mais pronunciadas das condições atmosféricas, mas se prolongaram por períodos de 4 a 5 horas, havendo, portanto, uma variação de temperatura, entre valores extremos, durante o período diurno.

- (2.11) - As medições foram feitas em dias de vento bastante fraco (entre 2 e 3 da escala de Beaufort), de maneira a não provocar vibrações nas fitas.
- (2.12) - Com a equipe formada, foi bastante facil efetuar o deslocamento das fitas - sem que as mesmas tocassem o solo.
- (2.13) - O tempo necessário para desenrolar e limpar a nova fita e enrolar a que estava sendo usada, é sempre de 20 ou mais minutos, permitindo, assim, uma adaptação à temperatura ambiente.
- (2.14) - No anexo 4, (pag. 23) encontra-se um exemplo do formulário utilizado, no campo, para o registro das medições realizadas com fitas de Invar.
- (2.15) - Marcos concretados.
- Os marcos definitivos, utilizados nas medições situam-se em sete pontos, à 9,8m da faixa lateral da estrada, materializando as estações de medição por cilindros de bronze torneados nas extremidades.



Os cilindros de bronze com diâmetro de 1 cm e afluorando, em média, 1 cm, evitam, a nosso ver, a sua fácil destruição, como ocorre, normalmente, com os marcos de entidades oficiais. Têm como inconveniente, a impossibilidade de inscrições definindo o número do ponto ou do órgão responsável pelo serviço, o que, no presente trabalho, julgamos superfluo pois, as entidades que vierem a utilizar a nossa base, encontrarão todas as informações possíveis na presente publicação.

Os marcos de concreto têm, em média, um comprimento de 1,5m com 10 cm afluorando da perfuração original.



(2.16) - O transporte da posição central do pino de bronze para a chapa de cobre foi feita com o teodolito Wild T-2, instalado entre 6 e 8m do marco, perpendicularmente à direção da base.

A marcação sobre a chapa de cobre foi feita em posição direta do teodolito e verificada em posição inversa.

### 3 - Correções efetuadas nas medidas

#### 3.1 - Redução ao horizonte.

Corrigida com a expressão.

$$C_I = - (\ell - \sqrt{\ell^2 - h^2}) = - \frac{h^2}{2\ell} - \frac{h^4}{8\ell^3} - \frac{h^6}{16\ell^5} - \dots$$

onde

$l$  - comprimento da fita

$h$  - diferença de nível entre as duas posições extremas de cada lance.

### 3.2 - Temperatura.

Corrigida com as expressões definidas pelos certificados de aferição. (anexo 1).

Fita nº 3830

$$C_T = \left[ 55,056 (t^0 - 25^0) + 0,469 (t^0 - 25^0)^2 \right] \text{ microns}$$

Fita nº 4104

$$C_T = \left[ 16,765 (t^0 - 25^0) + 0,156 (t^0 - 25^0)^2 \right] \text{ microns}$$

Fita nº 4620

$$C_T = \left[ 22,231 (t^0 - 25^0) + 0,241 (t^0 - 25^0)^2 \right] \text{ microns}$$

Fita nº 4101

$$C_T = \left[ 20,025 (t^0 - 25^0) + 0,138 (t^0 - 25^0)^2 \right] \text{ microns.}$$

Valores encontrados entre as posições  
concretadas

Estação	Distância corrigida	Número da fita	média	Erro médio da média (M)
0-100	99,9790	(4620)		
(1 - 2)	99,9803	(3830)		
	99,9800	(4101)	99,97948 m	$\pm 0,403$ mm
	99,9786	(4104)		
100-250	149,9860	(4620)		
(2 - 3)	149,9871	(3830)		
	149,9851	(4101)	149,98635	$\pm 0,497$ mm
	149,9872	(4104)		
250-600	349,9632	(4620)		
(3 - 4)	349,9621	(3830)		
	349,9635	(4101)	349,96298	$\pm 0,304$ mm
	349,9631	(4104)		
600-1000	399,9432	(4620)		
(4 - 5)	399,9447	(3830)		
	399,9435	(4101)	399,94422	$\pm 0,534$ mm
	399,9455	(4104)		
000-1300	300,0063	(4620)		
5 - 6)	300,0095	(3830)		
	300,0067	(4101)	300,00748	$\pm 0,712$ mm
	300,0074	(4104)		

Estação	Distância corrigida	Número da fita	média	Erro médio da média (M)
1300-2000	699,9597	(4620)		
(6 - 7)	699,9604	(3830)		
	699,9603	(4101)	699,95982 m	$\pm 0,345$ mm
	699,9589	(4104)		

Comprimento total

1999,8374

1999,8441

1999,8391

1999,84033

$\pm 1,43$  mm

1999,8407

Erro médio da média do comprimento total [10]

D	v	vv	v	vv	v	vv	v	vv
0,100	+0,48	0,2304	-0,82	0,6724	-0,52	0,2704	+0,88	0,7744
0,150	+0,35	0,1225	-0,75	0,5625	+1,25	1,5625	-0,85	0,7225
0,350	-0,22	0,0484	+0,88	0,7744	-0,52	0,2704	-0,12	0,0144
0,400	+1,02	1,0404	-0,48	0,2304	+0,72	0,5184	-1,28	1,6384
0,300	+1,18	1,3924	-2,02	4,0804	+0,78	0,6084	+0,08	0,0064
0,700	+0,12	0,0144	-0,58	0,3364	-0,48	0,2304	+0,92	0,8464



vv : D

1	2,3040	6,7240	2,7040	7,7440
2	0,8167	3,7500	10,4167	4,8167
3	0,1383	2,2126	0,7726	0,0411
4	2,6010	0,5760	1,2960	4,0960
5	4,6413	13,6013	2,0280	0,0213
6	0,0206	0,4806	0,3291	1,2091
$\Sigma$	10,5219	27,3445	17,5464	17,9282

Erro médio por quilômetro de uma medida:

$$m = \sqrt{\frac{1}{n(p-1)} \Sigma \frac{v \cdot v}{D}}$$

onde  $n = 6$

$p = 4$

$$m = \sqrt{\frac{1}{18} 73,3410}$$

$m = 2,02 \text{ mm/km}$  para uma medida.

Erro médio da média do comprimento total

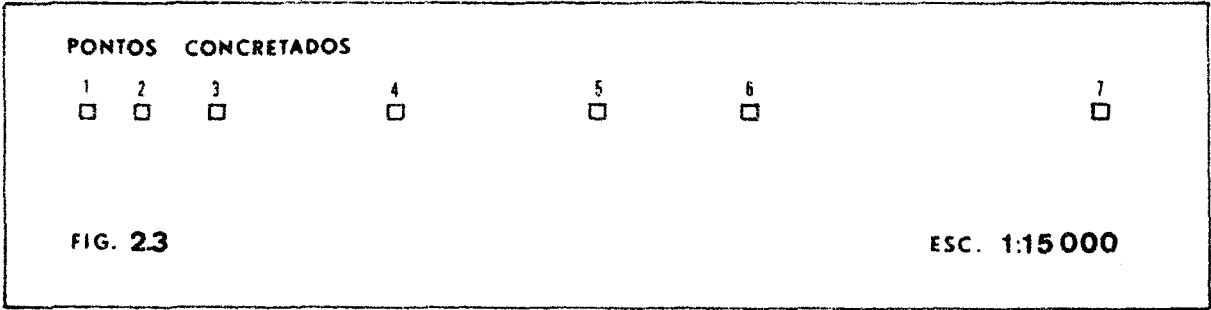
$$M^2 = \frac{2,0}{4} m^2$$

$M = 1,43 \text{ mm/2 km}$  para quatro medidas.

Erro relativo

1: 1.398.600

Distâncias medidas com fitas de Invar relacionando os marcos. Obtidas das somas das distâncias parciais indicadas anteriormente.



Estações		Distância corrigida	Erro médio da média
1 - 2	( 100)	99,9795 m	<u>+</u> 0,403 mm
2 - 3	( 150)	149,9864	<u>+</u> 0,497
1 - 3	( 250)	249,9658	<u>+</u> 0,640
5 - 6	( 300)	300,0075	<u>+</u> 0,712
3 - 4	( 350)	349,9630	<u>+</u> 0,304
4 - 5	( 400)	399,9442	<u>+</u> 0,534
2 - 4	( 500)	499,9493	<u>+</u> 0,692
1 - 4	( 600)	599,9288	<u>+</u> 0,841
4 - 6	( 700)	699,9517	<u>+</u> 0,917
6 - 7	( 700)	699,9598	<u>+</u> 0,345
3 - 5	( 750)	749,9072	<u>+</u> 0,605
2 - 5	( 900)	899,8935	<u>+</u> 0,888
1 - 5	(1000)	999,8730	<u>+</u> 1,031
5 - 7	(1000)	999,9673	<u>+</u> 0,965
3 - 6	(1050)	1.049,9147	<u>+</u> 0,966
2 - 6	(1200)	1.199,9010	<u>+</u> 1,138
1 - 6	(1300)	1.299,8805	<u>+</u> 1,243
4 - 7	(1400)	1.399,9115	<u>+</u> 1,096

Estação		Distância corrigida	Erro médio da média
3 - 7	(1750)	1.749,8745 m	1,114 mm
2 - 7	(1900)	1.899,8608	1,306
1 - 7	(2000)	1.999,8403	1,427

#### Anexos

- 1 - Certificados de aferição
- 2 - Nivelamento geométrico das estacas de madeira.
- 3 - Medidas com fitas de Invar. (campo)
- 4 - Cálculo do comprimento da base obtido com fitas de Invar.

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE  
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS  
WASHINGTON, D.C. 20234

REPORT OF CALIBRATION

on

30-Meter Iron-Nickel Alloy Tape

Kauffel & Esser No. 3830

NBS No. 7494

Submitted by

U.S. Department of the Army  
Inter-American Geodetic Survey Liaison  
c/o Army Map Service  
6300 Brooks Lane  
Washington, D.C.

This tape has been compared with the standards of the United States. The horizontal straight-line distances between the terminal points of the indicated intervals have the following lengths at 25° Celsius when the tape is subjected to a horizontally applied tension of 15 kilograms and supported as indicated below:

Supported only at the 0-, 12.5-, 37.5-, and 50-meter points with the 12.5- and 37.5-meter points 6 inches above the horizontal plane of the 0- and 50-meter points of support and 45-gram thermometers attached at the 1- and 49-meter points:

Interval	Observed Length
0 to 50 meters	50.00001 meters

Supported only at the 0-, 25-, and 50-meter points with all points of support in the same horizontal plane and 45-gram thermometers attached at the 1- and 49-meter points:

Interval	Observed Length
0 to 50 meters	50.00039 meters

The length values given above are not in error by more than 0.00010 meter.

Supported only at the 0-, 25-, and 50-meter points with all points of support in the same horizontal plane and no thermometers attached:

Interval	Computed Length
0 to 50 meters	50.00052 meters

Test No. 212.71/G-38846  
Date: September 12, 1969

Report continued  
50-Meter Iron-Nickel Alloy Tape  
NBS No. 3830

Page 2  
NBS No. 7494

The length value given was derived from the observed length for three points of support, from the average weight per meter of the tape ribbon, and from the effective load and position of the thermometers.

Supported on a horizontal flat surface with or without thermometers;

Interval (meters)	Computed Length (meters)
0 to 12.5	12.50123
0 to 25	25.00236
0 to 37.5	37.50330
0 to 50	50.00431

The length values given above were derived from the computed horizontally supported length of the 0- to 50-meter interval and from the intercomparison of the subintervals. The standard deviation of the intercomparison was 0.00001 meter.

The limits of errors are based upon the limits imposed by the standards used for the calibration of the tape, the length of the interval, the character of the terminal markings of the tape interval, and the behavior of the tape during the period of calibration.

The terminal points of the indicated intervals are the centers of the ends of the graduations near the edge of the tape ribbon marked with small dots near the graduation.

The average weight per meter of this tape ribbon is 0.02562 kilograms.

The thermal expansion of this tape per 50 meters of length is computed from the expression:

$$[+55.056 (t^{\circ} - 25^{\circ}) + 0.469 (t^{\circ} - 25^{\circ})^2] \text{ micrometers,}$$

where  $t^{\circ}$  is the observed temperature of the tape in degrees Celsius. This expression was developed for the tape over a temperature range from 7.7°C to 36.9°C, and over this range, the standard deviation was 39.5 micrometers. The measurements were made under test No. 116032 in November 1948. A table of thermal expansion has been prepared and included with this report.

For the Director,

*Paul E. Pontius*

Paul E. Pontius  
Acting Chief, Length Section  
Metrology Division, NBS

Test No. 212.21/G-38846  
Date: September 12, 1969

FORMULÁRIO Nº 2

MEDIÇÕES COM FITAS DE INVAR

NIVELAMENTO

Da estação ---1--- à estação ---4---						
Medição (ida)						
Dia 3/9/73 Hora início 13:55 Hora final 15:50						
Nível Kern GKO nº 108484						
Miras Encaixe - invertida						
(madeira)						
Tempo Bom - nuvens altas						
vento fraco do sul						

Estação	Dist. Rē	Leituras estadim.		Dist. vante	Fio nívelador		Valor médio Desnível
		Rē	Vante		Rē	Vante	
0 à 50	25,8	0550 0808 1358	1004 1255 2259	25,1	0679 1129	R+V =1,808 (R+V)/2=0,904 R-V =0,450	
50 à 100	25,2	1228 0976 2204	2045 1782 3827	26,3	1101 1914	3,015 1,507 -0,813	
100 à 150	25,3	0967 1220 2187	1381 1635 3016	25,4	1093 1508	2,601 1,300 -0,415	
150 à 200	25,5	0995 1250 2245	1090 1342 2432	25,2	1122 1215	2,337 1,168 -0,093	
Σ	101,8			102,0		-1,771	

Operador	Amauri
Porta mira 1	Valdemar
Porta mira 2	Nelson

FORMULÁRIO Nº 1

MEDIÇÕES COM FITAS DE INVAR

Da estação -----1----- à estação -----4-----

Medição (ida) (volta)

Dia 3/9/73- Hora início 15:50- Hora final 16:20--

Fita 3830--(NBS 7494)--

Termômetros 38563 A, 42478 A

Tempo bom com nuvens alt. e vento fraco do sul

Lance		Temperatura		avanço (cm)	recuo (cm)	nº de supor- tes	observações
De	à	Vante	Ré				
0	50	15,6	16,0		1,08	3	
50	100	15,6	16,0			3	
100	150	15,5	15,9		0,73	3	
150	200	15,8	15,6			3	
200	250	15,4	16,0	0,10		3	
250	300	15,5	15,9			3	
300	350	15,8	16,4			3	
350	400	16,1	16,5			3	
400	450	16,4	16,2			3	
450	500	16,0	16,8		3,00	3	
500	550	16,0	16,8			3	
550	600	16,1	17,0			3	

Registrador -----José-----  
Marcador vante -----Álvaro-----  
Marcador ré -----Fernando-----  
Distensor vante -----Razzini-----  
Distensor ré -----Gilberto-----  
Ponto central -----Thutomo-----

FORMULÁRIO Nº 3  
MEDIÇÃO COM FITAS DE INVAR  
CÁLCULO DO COMPRIMENTO

Da estação ... 1 ..... à estação ..... 4 .....

Seção	Data	ida vol- ta	nº fita	nº de sup.	comprimen- to sem correção	tempe- ratura méd.	Correções			comprimen- to final	observa- ções
							tempera- tura	avanço ou reco	redução ao hori- zonte		
0- 50	3/9/73	ida	3830	3	50,00039	15,8 <sup>0</sup>	-0,000467	R 0,0108	-0,0020	49,987123	
50-100						15,8	-0,000467		-0,0067	49,993223	
100-150						15,7	-0,000472	R 0,0073	-0,0018	49,990818	
150-200						15,7	-0,000472		-0,0001	49,999818	
200-250						15,7	-0,000472		-0,0035	49,996418	
250-300						15,7	-0,000472	A 0,0010	-0,0031	49,997818	
300-350						16,1	-0,000453		-0,0042	49,995737	
350-400						16,3	-0,000444			49,999946	
400-450						16,3	-0,000444		-0,0010	49,998946	
450-500						16,4	-0,000439	R 0,0300		49,969951	
500-550						16,4	-0,000439		-0,0001	49,999851	
550-600	3/9/73	ida	3830	3	50,00039	16,6	-0,000429		-0,0001	49,999861	

Distância 0-100 = 99,980346  
 Distância 0-250 = 249,967400  
 Distância 0-600 = 599,929510



### III EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS UTILIZADOS

Existe um grande número de publicações que tra tam dos princípios de funcionamento dos equipamentos eletrônicos utilizados, razão pela qual não foram transcritos no presente trabalho, mas podem ser encontrados nas referências [2],[15] e [13], que apresentam as informações fundamentais sobre os equipa<sup>u</sup> mentos geodímetro e telurômetro (E. Bergstrand e T. L. Wadley) , bem como um dos artigos sobre equipamentos que funcionam a infra-vermelho.

#### 1 - Geodímetro [1]

Modelo: 6 A (AGA)

Precisão: Erro médio quadrático  $\pm 5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ .  
para medidas normais.

#### Dados sobre a parte eletrônica

Frequências de modulação:

$$F_1 = 29.970.000 \text{ Hz}$$

$$F_2 = 30.044.920 \text{ Hz}$$

$$F_3 = 31.468.500 \text{ Hz}$$

$$F_4 = 31.465.500 \text{ Hz}$$

Precisão das frequências:  $\pm 1.10^{-6}$

Unidades de comprimento para  $-5^{\circ}\text{C}$ , 760mm Hg

( $C_0 = 299.792,5 \text{ km/s}$ )

$U_1 = 2,500000 \text{ m}$

$U_2 = 2,493766 \text{ m}$

$U_3 = 2,380952 \text{ m}$

$U_4 = 2,381179 \text{ m}$

Comprimento de onda efetivo da luz: 550 nm

Temperatura dos cristais:  $53^{\circ}\text{C}$

Limitação em temperatura:  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+ 40^{\circ}\text{C}$ .

Alcance de medição

		dia	noite
lâmpada de tungstênio:	15m a	5 km	15 km
lâmpada de vapor de Hg:	15m a	10 km	25 km

Abertura do feixe de luz

lâmpada de tungstênio:	altura	2m/km
	largura	0,3/km
lâmpada de vapor de Hg:	altura	1,5m/km
	largura	0,3m/km.

## 2 - Distomat [5]

Modelo DI-10 (Wild)

Precisão: Erro médio, independente da distância:

$\pm 1 \text{ cm.}$

Dados sobre a parte eletrônica

Frequência de modulação com aumento automático de 13,48686 MHz até 14,98540 MHz, que corresponde, no valor máximo, a uma unidade de medida de 10m para 12°C e 760 mm Hg, ou seja, um índice de refração de 1,000282.

Comprimento de onda efetivo do diodo luminescente de arseniato de gálio: 0,875µm.

Limitação em temperatura: -25°C a + 50°C.

Alcance de medida: de 1 a 2000 m.

Abertura do feixe de infra-vermelho: 15'

(40cm/100m)

3 - Telurômetro [9]

Modelo MRA-101 (Tellurometer)

Precisão:  $\pm 1,5 \text{ cm} \pm 3\text{ppm}$ , em condições favoráveis e sujeito a calibração do erro de zero.

Dados sobre a parte eletrônica

Frequências de modulação		
	Principal	Secundária
A	7,492377 MHz	7,491377 MHz
A <sup>-</sup>		7,493377
E	5,993902	5,992902
D	7,342529	7,341529
C	7,477392	7,476392
B	7,490879	7,489879

que correspondem às unidades de medida de:

A	10 m
A - E	100
A - D	1.000
A - C	10.000
A - B	100.000

para um índice de refração padrão de 1,000325.

Frequência da onda portadora entre 10.050 e 10.450 MHz, o que corresponde a um comprimento de onda entorno - de 3 cm.

Temperatura dos cristais: 85°C.

Limitações em temperatura: - 10°C a + 55°C.

Alcance de medição: aproximadamente, de 100 m a 50 km.

Abertura do feixe de micro-ondas: 6°

As especificações de fábrica ainda solicitam que as frequências de modulação sejam aferidas regularmente, isto é, anualmente ou antes do início de cada campanha de medição.

Nas medidas efetuadas, isto não foi feito com o distomat e o geodímetro, pois os equipamentos têm pouco mais de um ano de uso. Por outro lado, o telurômetro foi aferido poucos meses antes de ser utilizado no presente trabalho, pela própria firma que faz a manutenção no Brasil, e, conseqüentemente, os resultados obtidos devem ser compatíveis com os esperados em uso normal dos equipamentos.

#### IV MEDICÕES EFETUADAS COM MICRO-ONDAS

##### 1 - Equipamentos utilizados:

- 1.1 - Telurômetros modelo MRA-101 com números de série 1017 e 1010, tendo correção de zero, indicada pela fábrica, de - 35 cm.
- 1.2 - Altímetros Wallace & Tiernan nº<sup>S</sup> DD 03466 , DD 03468 e 45 - FF 04062, sendo que os dois primeiros modelos foram utilizados em uma extremidade da linha e o terceiro na outra, para cada distância.
- 1.3 - Os psicrômetros usados foram em número de 4 , dois em cada extremidade de linha, sendo que tres faziam parte dos altímetros e o último do equipamento original do telurômetro.

##### 2 - Técnica de medição:

###### 2.1 - Instalação do equipamento.

Foram utilizados berços de teodolito Wild T-2, com a possibilidade de centragem a prumo ótico, e posterior fixação do telurômetro, empregando adaptadores de 5/8" da AGA (nº do componente 570.590.385).

## 2.2 - Observações meteorológicas:

Dada a grande influência das condições meteorológicas nas medidas com micro-ondas, foram utilizados altímetros e psicrômetros em número maior do que o normal para obtenção de um melhor valor médio.

Como as medidas com os telurômetros levaram em média 35 minutos para uma operação completa, foram feitas medições de temperatura, seca e úmida, e de pressão, somente antes e depois das medições com o distanciômetro.

As medições com os psicrômetros apresentaram uma variação em torno de  $1^{\circ}\text{F}$  entre medições efetuadas com intervalo médio de 35 minutos.

As medições com os altímetros apresentaram uma variação em torno de 1 m, no mesmo intervalo de tempo.

Como os psicrômetros utilizados foram de funda, o número de rotações por minuto foi levado em conta com todo o rigor.

## 2.3 - Medições com o distanciômetro:

Todas as distâncias foram definidas a partir de 10 leituras de precisão e 2 grosseiras em cada extremidade de linha, tendo como variação média, em cada série, 1 unidade do círculo graduado, correspondendo, portanto, a uma distância de 10 cm.

Nas páginas 35 e 36, um exemplo de medição, bem como do formulário utilizado.

### 3 - Cálculo:

#### 3.1 - Correção das condições meteorológicas

Para a determinação do índice de refração para as condições de medição foram empregadas as expressões desenvolvidas por Essen & Froome: [9]

$$(n-1)10^6 = \frac{4730}{459,688+t} (P + E) \quad (4.1)$$

$$E = \frac{8540}{459,688+t} e \quad (4.2)$$

$$e = e' - 0,000367 P (t-t')(1 + \frac{t'-32}{1571}) \quad (4.3)$$

onde

n - índice de refração

P - pressão em polegadas de Hg

e' - pressão de saturação do vapor em polegadas de Hg

t - temperatura seca em °F

t' - temperatura úmida em °F.

O valor de e' é obtido de tabela elaborada em função da temperatura úmida. [11]

As fórmulas acima foram derivadas da expressão fundamental aprovada, provisoriamente, pela Associação Internacional de Geodésia, em 1960 [11], contida no trabalho apresentado por Essen e Froome [12]

#### 3.2 - Redução ao horizonte

Realizada mediante resolução do triângulo retângulo formado pela distância inclinada e



a diferença de cotas entre os dois v̄rtices.

$$D_H = D_E \operatorname{sen} \alpha \quad (4.4)$$

$$\cos \alpha = (H_2 - H_1) \div D_E \quad (4.5)$$

onde

$D_H$  - distância reduzida ao horizonte

$D_E$  - distância inclinada

$H_2$  - cota do 2º v̄rtice acrescida da altura do instrumento.

$H_1$  - ídem para o 1º v̄rtice

$\alpha$  - ângulo nadiral formado pela vertical - com a reta que passa pelos centros dos dois instrumentos.

#### 4 - Resultados obtidos com micro-ondas

Estações	Distâncias (média)	Erro médio (M)
1 - 2	99,938 m	$\pm 0,012707$ m
1 - 3	249,963	0,016800
1 - 4	599,897	0,006317
1 - 5	999,839	0,006345
1 - 6	1.299,840	0,011147
1 - 7	1.999,803	0,011643
2 - 3	149,979	0,006454
2 - 4	499,958	0,012282
2 - 5	899,854	0,015164
2 - 6	1.199,874	0,005866
2 - 7	1.899,813	0,015196
3 - 4	349,941	0,014043
3 - 5	749,858	0,018405
3 - 6	1.049,902	0,014079
3 - 7	1.749,889	0,015707
4 - 5	399,885	0,019336
4 - 6	699,912	0,029135
4 - 7	1.399,880	0,008936
5 - 6	299,999	0,008129
5 - 7	999,951	0,007094
6 - 7	699,946	0,018906
1 - 8	10.269,811	0,015492
2 - 8	10.169,965	0,016642
3 - 8	10.020,014	0,017158
4 - 8	9.670,003	0,006614
5 - 8	9.269,991	0,021674
6 - 8	8.969,868	0,018770
7 - 8	8.270,071	0,008592

DISTANCIAS A TELURÔMETRO

Est. Princ. 1 1 A.I.  
Est. Sec. 2 7 A.I.  
Data 27-12-73 Tempo NUBLADO  
Op (1) JUVENAL Reg. ÁLVARO  
Op (2) ZACARIAS

DADOS METEOROLÓGICOS

	hora	temperatura			altímetro ou barômetro			
		cristal	T.U.	T.S.	Instr. nº	Obser.	Corrig.	pres.
principal	16:40		67° F	72° F	4062	1154		
secundária			68	71				
principal	17:00		67	71	4062	1154		
secundária			67	70				
soma								
media								

6	5	4	3		2	1	2-1	FREQ
A	A	A	A		AV	RE	media	
				A				1 HI
1 B 02	1 C 20	1 D 00	1 E 00	A-	01,1	01,0	01,05	

Dist. aprox. 2 Km  
Mi

		N.º	inicio	fim
prin.	hora			
N.º	bater.			
Sec.	hora			
N.º	bater.			

				A+				2 HI
				A-	01,5	01,2	01,35	
				A+				3 HI
				A-	01,2	01,1	01,15	
				A+				4 HI
				A-	01,3	01,4	01,35	
				A+				5 HI
				A-	01,8	01,5	01,65	
				A+				5 LO
				A-	02,0	02,3	02,15	
				A+				6 LO
				A-	02,8	02,5	02,65	
				A+				7 LO
				A-	02,2	02,3	02,25	
				A+				8 LO
				A-	02,4	02,6	02,50	
				A				9 LO
				A-	02,2	02,1	02,15	
							18,25	soma
							18,25	média

	Médias	B	6	0	2	0			
Percurso s/ correção		C	5		2	0	0		
Tempo	Mus	D	4		0	0	0		
Tempo corrigido		E	3			0	0	0	
		A	2				0	1	8 25
Distância s/ correção									2000,1825m

## DISTANCIAS A TELURÓMETRO

Est. Princ. 1	7	AI	1,56
Est. Sec. 2	1	AI	
Data	27-12-73	Tempo	NUBLADO
Op (1)	ZACARIAS	Reg.	AMAURI
Op (2)	JUVENAL		

## DADOS METEOROLÓGICOS

	hora	temperatura			altímetro ou barômetro			
		cristal	T.U.	T.S.	Instr.nº	Obscr.	Corrig.	pres.
principal	16:36		62° F 75° F		3466	844		
secundária			21° C 25° C		3468	828		
principal	16:55		67° F 71° F		3466	844		
secundária			19,5° C 22° C		3468	829		
soma								
media								

<sup>6</sup>	<sup>5</sup>	<sup>4</sup>	<sup>3</sup>		<sup>2</sup>	<sup>1</sup>	<sup>2-1</sup>	FREQ
A	A	A	A		AV	RE	media	
				A				I HI
B 02	C 18	D 00	E 00	A-	02,3	02,	02,35	

Dist. aprox. 2 Km  
MI

		N.º	inicio	fin
prin.	hora			
N.º	bater.			
Sec.	hora			
N.º	bater.			

				A+			6LO
				A-	01,7	01,7	01,70
				A+			7LO
				A-	01,5	01,6	01,55
				A+			8LO
				A-	01,2	01,4	01,30
				A			9LO
B	C	D	E	A-	01,2	01,7	01,50
02	18	00	00				
02	18	00	00				
						19,90	soma
						01,95	médica

		Médias									
		B	6	0	2	0					
Percurso s/ correção		C	5		1	8	0				
Tempo	Mus	D	4			0	0	0			
Tempo corrigido		E	3				0	0	0		
		A	2					0	1	9	9
Distância s/ correção											2000,199m

## V MEDIÇÕES COM ONDAS DE LUZ

### 1 - Equipamentos utilizados:

- 1.1 - Geodímetro modelo 6-A com número de série , 61.393 tendo como constante indicada pela fábrica, um valor de -0,128m.
- 1.2 - Refletores AGA, com uma constante de -0,03m. (até 9 prismas)
- 1.3 - Altímetros: um Wallace & Tiernan nº 45-FF04062 e um Paulin modelo Paler número 9757.
- 1.4 - Dois psicrômetros marca TM, que somente foram utilizados para obtenção da temperatura seca.

### 2 - Técnica de medição:

- 2.1 - Instalação do equipamento:  
A mesma utilizada para as medidas com micro-ondas.
- 2.2 - Observações meteorológicas:  
Como as condições meteorológicas tem pequena influência nas correções das distâncias , somente foram feitas observações nas duas

extremidades das linhas, antes das operações de medição de cada distância.

### 2.3 - Medições com o distanciômetro:

As distâncias foram definidas a partir de quatro séries completas sendo duas em cada extremidade de ponto concretado, o que corresponde a 24 medidas de fase para cada série completa.

Na página 42 há um exemplo de medição, bem como o formulário utilizado (formulário preconizado pela AGA para facilitar o cálculo - no campo).

## 3 - Cálculo:

### 3.1 - Correção para as condições meteorológicas - reinantes.

Para a determinação da correção relativa às condições meteorológicas reinantes durante as medições, foi utilizada a expressão de senvolvida por Barrel e Sears, [1]

$$\text{Corr} = (309,2 - 109,46 \frac{P}{273,2+t}) 10^{-6} D \quad (5.1)$$

onde

t - temperatura em °C

P - pressão atmosférica em mm de Hg.

D - distância inclinada.

Na expressão acima, deve ser considerado o seguinte:

O condensador da lâmpada de mercúrio do geodímetro é equipado com um filtro amarelo, em consequência do que, o comprimento de onda efetivo da luz é de 549 nm; ao passo que usando a lâmpada comum de filamento de tungstênio o comprimento de onda efetivo da luz é de 550nm.

Isso provoca uma variação, na distância, de  $0,5 \cdot 10^{-7}$ , que pode ser desprezada.

Considerando um valor de  $\lambda$  efetivo = 550nm, o índice de refração de grupo fica:

$$n_g = 1 + (287,604 + \frac{4,8864}{\lambda^2} + \frac{0,068}{\lambda^4}) \cdot 10^{-6} \quad [11]$$

ou

$$n_g = 1 + 304,5 \cdot 10^{-6},$$

para uma atmosfera padrão com temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ , pressão atmosférica de 760 mm Hg e 0,03% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Considerando as frequências de modulação e efetuando uma correção média da umidade de  $- 0,6 \cdot 10^{-6}$ , ou seja,  $e = 11\text{mm Hg}$ , é obtida a expressão (5.1) [1].

A fórmula completa, considerando também as variações de umidade, não foi usada, seguindo a linha de raciocínio indicada na introdução, ou seja, efetuar as medições, sempre que possível, da mesma maneira que o pessoal de campo de qualquer entidade o faria, desde que houvesse necessidade de obtenção da

maior precisão possível, com o equipamento em condições operacionais normais.

### 3.2 - Redução ao horizonte

As mesmas expressões utilizadas para as medições com micro-ondas. (4.4) e (4.5) foram aqui empregadas.



#### 4 - Resultados com luz

Estações	Distâncias (médias)	Erro médio (M)
1 - 2	99,982 m	$\pm 0,004546$ m
1 - 3	249,970	0,003096
1 - 4	599,926	0,004500
1 - 5	999,890	0,005338
1 - 6	1.299,888	0,001354
1 - 7	1.999,863	0,004252
2 - 3	149,985	0,001080
2 - 4	499,952	0,002273
2 - 5	899,905	0,001555
2 - 6	1.199,912	0,006608
2 - 7	1.899,873	0,003582
3 - 4	349,965	0,002517
3 - 5	749,908	0,003175
3 - 6	1.049,923	0,003304
3 - 7	1.749,930	0,003873
4 - 5	399,946	0,004262
4 - 6	699,954	0,002843
4 - 7	1.399,922	0,003786
5 - 6	300,009	0,002887
5 - 7	999,974	0,005393
6 - 7	699,973	0,003317

Observação: As distâncias longas não foram medidas, inicialmente por não haver prismas em número suficiente, ou condições atmosféricas ideais; depois, porque o aparelho - apresentou defeito no conjunto de polarização da célula Kerr.



## VI MEDIÇÕES COM INFRA-VERMELHO

### 1 - Equipamento utilizado:

- 1.1 - Distomat DI - 10 com número de série 52.167.
- 1.2 - Refletores Wild (até 9 prismas)
- 1.3 - Altímetro Wallace & Tiernan número 45 - FF 04062 e altímetro Paulin modelo Palar número 9757.
- 1.4 - Dois psicrômetros marca TM que somente foram utilizados para a obtenção da temperatura - seca.

### 2 - Técnica de medição:

#### 2.1 - Instalação do equipamento

A mesma utilizada para as medições com micro ondas.

#### 2.2 - Observações meteorológicas.

A mesma utilizada para as medidas com ondas de luz.

#### 2.3 - Medidas com o distanciômetro.

As distâncias foram definidas a partir de 4 medidas completas para cada intervalo, sendo duas em cada posição concretada.

### 3 - Cálculo:

#### 3.1 - Correção para as condições meteorológicas - reinerantes.

Para a determinação da correção para as condições meteorológicas durante a medição, foi utilizada a expressão de Barrel e Sears [5], desenvolvida a partir do comprimento de onda efetivo de 0,875 $\mu$ , utilizada pelo Distomat DI-10, e um índice de refração padrão de 1,000 282.

$$\text{Corr} = 282 - 0,387 \frac{P}{T+0,0037 t} \quad (6.1)$$

onde t temperatura em °C

P pressão atmosférica em mm Hg

Corr - correção em mm/km.

#### 3.2 - Redução ao horizonte

As mesmas expressões utilizadas para as medições com micro-ondas. (4.4) e (4.5).

4 - Resultados com infra vermelho:

Estações	Distâncias (médias)	Erro médio (m)
1 - 2	100,010 m	$\pm 0,005492$ m
1 - 3	250,010	0,001155
1 - 4	600,004	0,013279
1 - 5	999,954	0,034595
1 - 6	1.299,922	0,008246
1 - 7	1.999,915	0,009747
2 - 3	150,007	0,002380
2 - 4	500,000	0,010452
2 - 5	899,970	0,028238
2 - 6	1.199,962	0,024192
2 - 7	1.899,969	0,035266
3 - 4	349,986	0,005050
3 - 5	749,956	0,016872
3 - 6	1.049,979	0,017760
3 - 7	1.749,962	0,029726
4 - 5	399,967	0,003028
4 - 6	699,975	0,006144
4 - 7	1.399,939	0,001155
5 - 6	300,021	0,003753
5 - 7	999,989	0,004093
6 - 7	699,982	0,006151

## VII N I V E L A M E N T O

### 1 - Nivelamento geométrico

Principalmente para permitir posteriores verificações do comportamento do solo quanto à sua estabilidade, a base medida com fitas de Invar foi nivelada por procedimento geométrico de 1.<sup>a</sup> ordem.

O equipamento utilizado foi um nível Wild NIII nº 86.110, e miras de Invar Wild nº<sup>s</sup> 88 e 96, com o qual foram encontrados os desníveis abaixo:

Estações	Desníveis (m)	Desnível médio (m)	Diferença ida-volta (mm)
1 - 2	-1,2152	-1,2151	0,2
2 - 1	1,2150		
2 - 3	-1,0575	-1,0562	2,6
3 - 2	1,0549		
3 - 4	0,1766	0,1779	- 2,7
4 - 3	-0,1793		

Estações	Desníveis (m)	Desnível médio (m)	Diferença ida-volta (mm)
4 - 5	-0,9790	-0,9789	0,1
5 - 4	0,9789		
5 - 6	0,2938	0,2934	0,8
6 - 5	-0,2930		
6 - 7	1,5133	1,5135	- 0,5
7 - 6	-1,5138		

Portanto, um desnível total médio de -1,2653 m com uma diferença entre ida e volta do comprimento total de 5,2 mm, sendo o erro tolerável de 5,65 mm, admitindo como expressão de avaliação [4]

$$e < 4 \text{ mm } \sqrt{k} \quad (7.1)$$

onde k corresponde a distância entre os dois pontos, medida em quilômetros. Para trechos com comprimentos inferiores a 500m, é admitida uma discrepância fixa de 2,8 mm.

Posteriormente, foi efetuada a ligação da base com a rede de nivelamento geométrico de 1.<sup>a</sup> ordem do apoio fundamental para o cadastramento do Município de Curitiba.

A ligação foi feita partindo de uma referência - de nível de 1.<sup>a</sup> ordem (RN nº 64 IPPUC-DGTC) e definindo as altitudes seguintes somente por operações de nivelamento e contra-nivelamento, portanto, ainda não foi efetuado um fechamento de poligonal para posterior compensação.

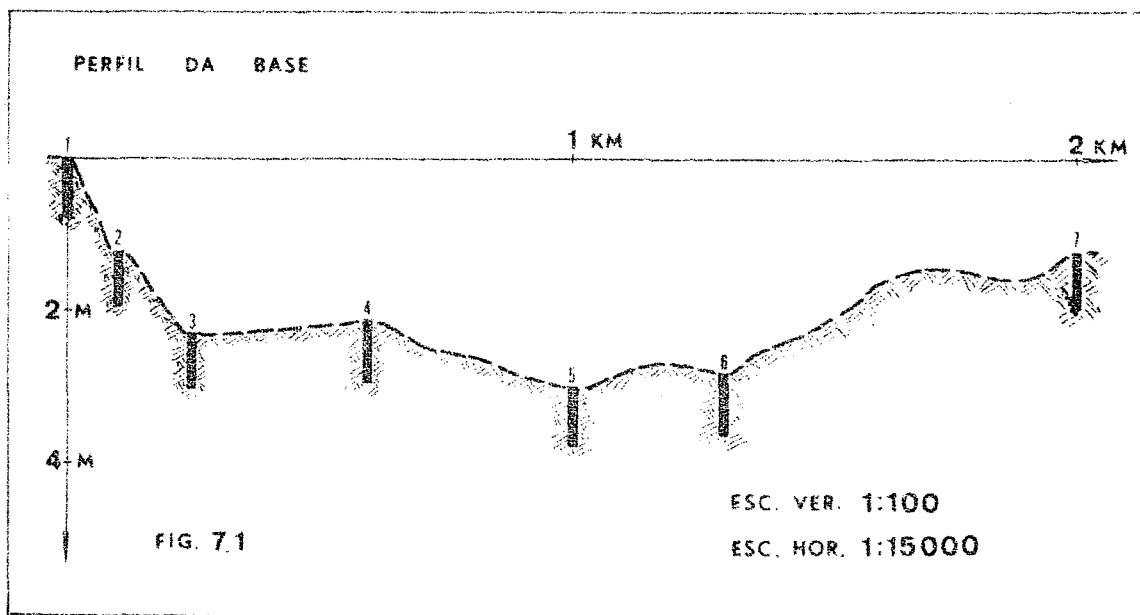
Partindo da RN nº 64, houve necessidade de implantar mais duas RNs denominadas FITC (Fundação Instituto de Terras e Cartografia), tendo como altitudes os valores:

Referência de Nível		altitude
	64 IPPUC DGTC	877,6639 m
	1 FITC	877,0881
	2 FITC	881,8235
	1 UFP	899,1547
	2 UFP	897,9396
	3 UFP	896,2834
Base	4 UFP	897,0613
	5 UFP	896,0824
	6 UFP	896,3758
	7 UFP	897,8893

Na página 53, um exemplo com o formulário (G-4) utilizado no nivelamento geométrico.

No perfil indicado na figura 7.1, podem ser observadas as visadas possíveis, sendo que, em todas as posições, a altura normal de uso dos distanciômetros eletrônicos cobre, com sobra, as posições desfavoráveis do terreno, desde que o capim, na área, esteja cortado rente ao solo (o DNER faz o corte regularmente pelo seu serviço de conservação).





## 2 - Nivelamento trigonométrico

A diferença de cota entre a base e o vértice afastado foi definida por nivelamento trigonométrico, utilizando o processo de visadas recíprocas e simultâneas, considerando tres posições diferentes da base, ou seja, estações 1, 5 e 7.

### 2.1 - Equipamento

Teodolito Wild T-2 nº 92706

Teodolito Wild T-2 nº 27190

2 "Sealed-beams" de 6 V.

### 2.2 - Técnica de medição.

Foram medidas 4 séries completas de distâncias zenitais em cada extremo de linha. Sendo que, cada operador, depois da medição angular concluída, substitua seu teodolito pelo "sealed-beam", servindo assim de aviso para a outra extremidade da linha iniciar sua medição de ângulo vertical.

Com a operação descrita acima, as medidas não foram feitas rigorosamente no mesmo instante mas, como as operações de medição levam, em geral, somente uns 3 a 5 minutos e

a substituição do "sealod-beam" pelo teodolito mais 1 ou 2 minutos, as medidas podem ser consideradas simultâneas.

Na pagina 54, um exemplo de caderneta utilizada na obtenção do ângulo zenital.

### 2.3 - Cálculo do desnível

Obtido com a utilização das expressões [3] abaixo:

#### 2.3.1 - Redução ao solo

$$r'' = \frac{s - i}{D \sin 1''} \quad (7.2)$$

onde

$r''$  - redução do ângulo zenital em segundos

$i$  - altura do instrumento

$s$  - altura do sinal

$D$  - distância inclinada entre os dois pontos,

#### 2.3.2 - Desnível

$$\Delta H = D \sin \frac{Z_2 - Z_1}{2} \quad (7.3)$$

onde

$\Delta H$  - desnível entre os dois pontos em metros

$Z_i$  - ângulo zenital reduzido

---

\* A utilização do seno em lugar da tangente é devida ao conhecimento da distância inclinada entre os dois pontos, e não a distância reduzida conforme é usual em triangulação.

#### 2.4 - Desnível entre a base e o ponto afastado.

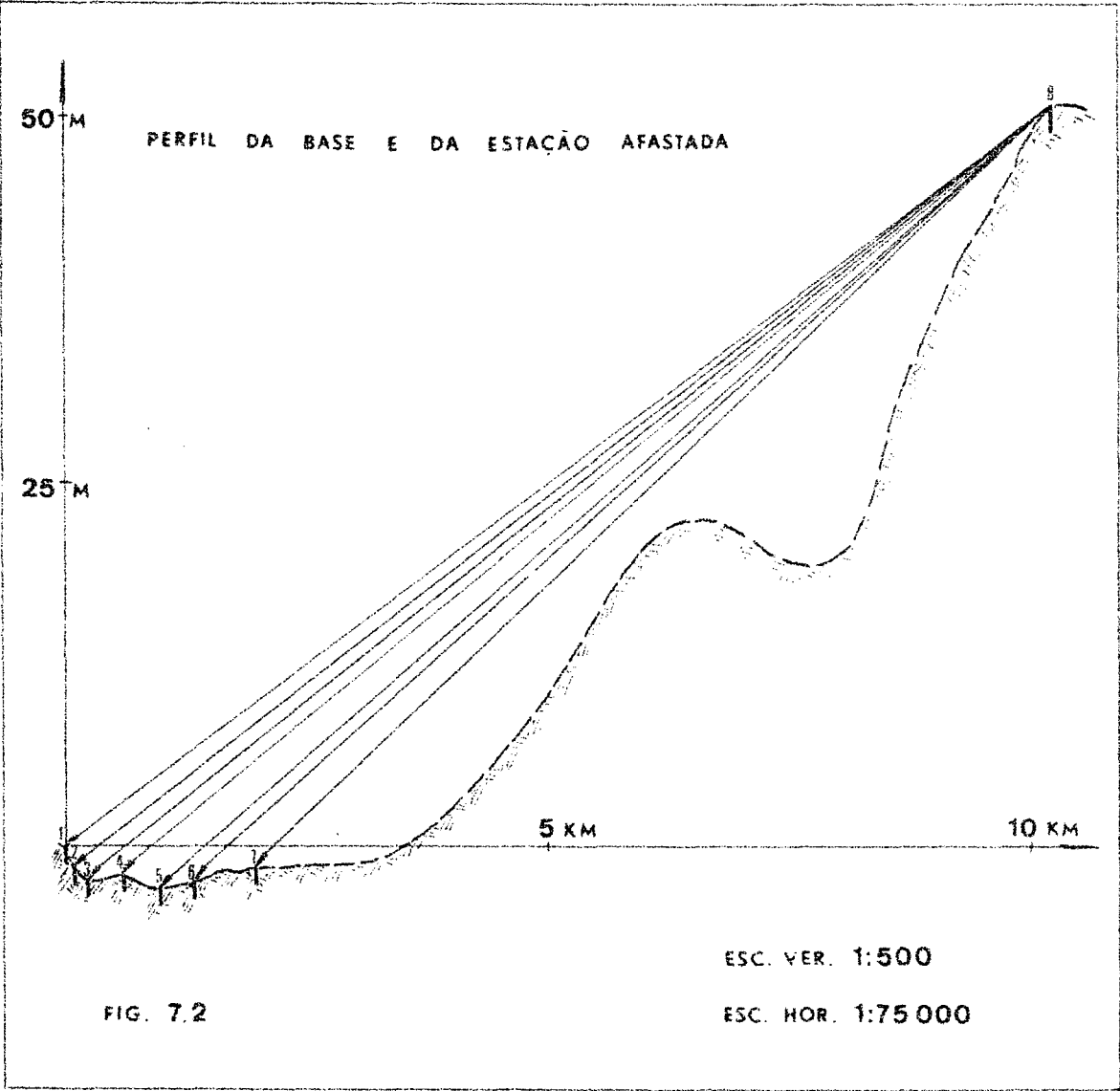
Considerando as tres medidas:

Estação	Desnível
1 + 8	51,635 m
5 + 8	53,963
7 + 8	52,352

Como os desniveis entre as estações 1 e 5 e 1 e 7 são, respectivamente, -3,072 e -1,265, temos os desniveis referidos à primeira estação:

51,635 m  
50,891  
51,087

Sendo a média  $51,204\text{m} \pm 0,222. \text{ m}$



NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

RN 1 a RN 7

Esta ção	Dist. Rē	Leituras estadim.		Dist. Vante	Fio nivelador		Desnível R - V
		Rē	Vante		Rē	Vante	
1	501	1190	2404	503	14400	26554	87846
		1691	2907		44557	56707	87850
		2881	5311		30157	30153	
2	503	882	1267	504	11337	15190	96147
		1385	1771		41490	45348	96142
		2267	3038		30153	30158	
3	250	1135	1806	251	12600	19318	93282
		1385	2057		42753	49474	93279
		2520	3863		30150	30156	
4	500	1989	1914	503	22389	21657	732
		2489	2417		52546	51811	735
		4478	4331		30157	30154	
5	502	1389	1252	501	16404	15026	1378
		1891	1753		46562	45182	1380
		3280	3005		30158	30156	
6	502	1369	1230	502	16203	14820	1383
		1871	1732		46358	44977	1381
		3240	2962		30155	30157	
7	254	1301	1476	250	14281	16009	98272
		1555	1726		44436	46164	98272
		2856	3202		30155	30155	
8	758	959	1660	748	13371	20335	93036
		1717	2408		43525	50488	93037
		2676	4068		30154	30153	
	3770	A Transport.		3762	483212	539060	944152
R =		376,6		(H) =		-558,48	1000000
						(Δ H) =	-55848
						H =	-2,7924 m

NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO

(campo)

Data: 03 de janeiro de 1974

Estação principal: 1

Estação secundária: 8

Teodolito: Wild T-2 - 27190

Sinal observado: "sealed beam"

Operador: Alvaro

Anotador: Alvaro

Altura do instrumento: 1,53

Altura do sinal: 1,52

Tempo: Bom

Hora de início: 14:37<sup>h</sup>

Hora de término: 14:40<sup>h</sup>

Posição	o	'	"	"	média	"
PD	89	45	45	45	45	
PI	270	14	50	50	50	27,50
	359	59		Σ	95,0	
PD	89	45	43	44	43,5	
PI	270	14	48	49	48,5	27,50
				Σ	92,0	
PD	89	45	43	43	43,0	
PI	270	14	55	55	55,0	24,0
				Σ	98,0	
PD	89	45	43	44	43,5	
PI	270	14	55	56	55,5	23,75
				Σ	99,0	
				Σ		102,75
				média		25,69

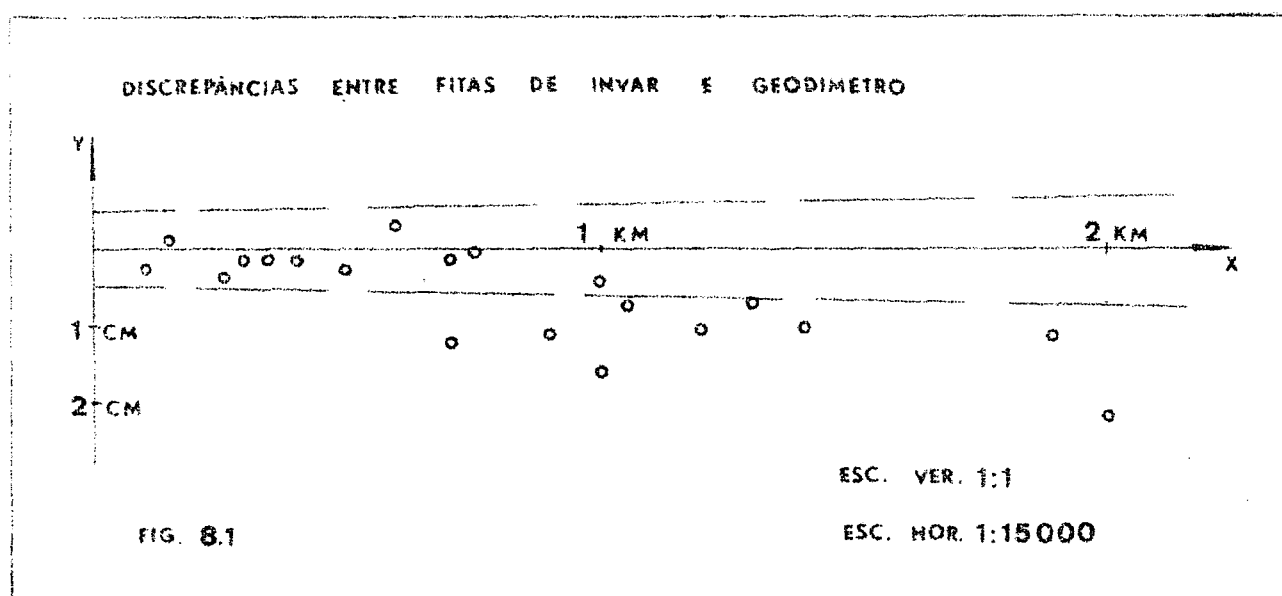
Ângulo medido: 89<sup>o</sup> 45' 25,69".

## VIII - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

### 1 - GEODÍMETRO (distâncias sobre a base)

Evidentemente, seria possível efetuar um número elevado de comparações e ajustamentos, considerando os equipamentos utilizados. Como primeira etapa pois é nossa intenção desenvolver também este trabalho em outras pesquisas, no futuro, com mais medições e outros equipamentos foi feito um ajustamento das distâncias obtidas com fitas de Invar e geodímetro.

Na figura 8.1, estão indicadas, no eixo X, as distâncias medidas e, no eixo Y, as discrepâncias, em verdadeira grandeza, entre as medidas diretas (Invar) e as indiretas (geodímetro).



A apresentação gráfica sugere, de imediato, uma pequena alteração na constante do geodímetro, aparentemente proporcional à distância.

A correção à constante do geodímetro foi obtida através do ajustamento pelo método dos mínimos quadrados,

e não foi levada em conta uma correção proporcional a distância.

O ajustamento envolvendo processos heterogêneos de medida, oferece um grau maior de confiança nas distâncias finais apresentadas pois, como foi indicado no capítulo que trata das medidas com fitas de Invar, sua calibração foi feita - em um período anterior ao recomendado pelas referências [7] ou [8].

Ajustamento das medidas obtidas com Invar e geodímetro pelo M.M.Q.

Técnica empregada: (cálculo matricial)

Os cálculos das correções às distâncias foram desenvolvidos segundo o método das equações de observação\* [6], [14], portanto, com um modelo matemático da forma:

$$L_a = F(X_a) \quad (8.1)$$

onde

$L_a$  : representa a matriz (vetor) dos valores observados, ajustados.

e

$X_a$  : a matriz (vetor) dos parâmetros ajustados.

ou

$$L_a = L_b + V \quad (8.2)$$

---

\* O método de ajustamento empregado, normalmente considera modelos matemáticos não lineares, o que não ocorre no presente trabalho onde o modelo é linear, mas, que pode ser tratado como um caso geral.



onde

$L_b$  : matriz (vetor) dos valores observados.

$V$  : matriz (vetor) dos resíduos.

A expressão que permite o cálculo dos resí  
duos ẽ dada por :

$$V = AX + L \quad (8.3)$$

que ẽ a expressão matricial das equações de observação, na  
qual:

$X$  : matriz (vetor) que somada ã dos parâme  
tros aproximados fornece a matriz dos  
parâmetros ajustados.

$A$  : matriz ( $n \times u$ , sendo n o número de ob  
servações e u o número de parâmetros)  
dada por:

$$A = \frac{\partial F}{\partial X_a} \bigg|_{X_a = X_0}$$

sendo  $X_0$  a matriz dos valores aproxima  
dos dos parâmetros.

$L$  : matriz (vetor) obtida pela diferença -  
entre  $L_0$  e  $L_b$  onde  $L_0 = F(X_0)$ .

Impondo a condição dos mínimos quadrados às  
equações de observação:

$$V^T P V = \text{mínimo},$$

são obtidas as equações normais, em notação matricial:

$$XN + U = 0$$

cuja solução ẽ dada por:

$$X = - N^{-1} U \quad (8.4)$$

onde

$$N = A^T P A$$

$$U = A^T P L$$

Os valores ajustados dos parâmetros são dados por:

$$X_a = X_o + X \quad (8.5)$$

A matriz dos pesos (P) é obtida através da matriz variância-covariância ( $\Sigma_{L_b}$ ) dos valores observados, ficando reduzida a uma matriz diagonal por serem as observações independentes.

A matriz dos pesos é dada pela expressão :

$$P = \sigma_o^2 \Sigma_{L_b}^{-1} \quad (8.6)$$

onde  $\sigma_o^2$  (variância da unidade de peso) é admitida "a priori" como sendo igual à unidade, e seu valor estimado, "a posteriori", pode ser obtido pela fórmula:

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{V^T P V}{n - u} \quad (8.7)$$

com  $n - u$  graus de liberdade.

Finalmente, a matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados ( $\Sigma_{X_a}$ ) é dada pela expressão:

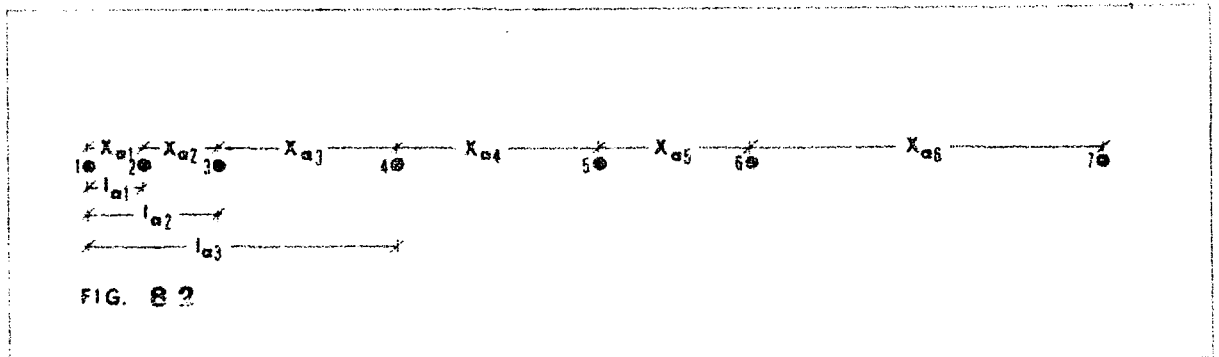
$$\Sigma_{X_a} = \hat{\sigma}_o^2 N^{-1} \quad (8.8)$$

#### Aplicação à base medida

Na figura 8.2, os pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e

7 representam as estações monumentadas.

Designando por  $x_{a1}$ ,  $x_{a2}$ ,  $x_{a3}$ ,  $x_{a4}$ ,  $x_{a5}$ ,  $x_{a6}$  e  $\Delta_a$  os parâmetros ajustados (sendo os  $x_{ai}$  as distâncias entre as estações e  $\Delta_a$  a correção  $\bar{a}$  constante do geodímetro).



Chamando ainda de  $\ell_{aj}$  os valores observados, ajustados, temos o modelo matemático:

$$\ell_{a1} + \Delta_a = x_{a1} \quad \text{ou} \quad \ell_{a1} = x_{a1} - \Delta_a$$

da mesma forma

$$\ell_{a2} = x_{a1} + x_{a2} - \Delta_a$$

$$\ell_{a3} = x_{a1} + x_{a2} + x_{a3} - \Delta_a$$

$$\ell_{a7} = x_{a2} - \Delta_a$$

$$\ell_{a8} = x_{a2} + x_{a3} - \Delta_a$$

$$\ell_{a20} = x_{a6} - \Delta_a$$

$$\ell_{a21} = x_{a1}$$

$$\ell_{a22} = x_{a2}$$

$$\ell_{a26} = x_{a6}$$



Matriz L

No ajustamento em questão, foram tomados como valores aproximados dos parâmetros as distâncias obtidas com invar, estimadas ao milímetro, e para a correção  $\hat{\alpha}$  constante do geodímetro, o valor nulo, ou seja:

$$X_0 = \begin{bmatrix} 99979 \\ 149986 \\ 349963 \\ 399944 \\ 300007 \\ 699960 \\ 0 \end{bmatrix}$$

A matriz L é dada pela expressão:

$$L = L_0 - L_b$$

sendo  $L_0$  a matriz calculada através do modelo matemático

$$L_0 = F(X_0)$$

Assim, a transposta de  $L_0$  fica:

$$L_0^T = \begin{bmatrix} 99979 & 249965 & 599928 & 999872 & 1299879 \\ 1999839 & 149986 & 499949 & 899893 & 1199900 \\ 1899860 & 349963 & 749907 & 1049914 & 399944 \\ 699951 & 1399911 & 300007 & 999967 & 699960 \\ 99979 & 149986 & 349963 & 399944 & 300007 \\ 699960 \end{bmatrix}$$

A matriz  $L_b$  foi formada a partir das distâncias médias obtidas com o geodímetro e fitas de invar.

A matriz  $L_b$ , na forma transposta, fica:

$$L_b^T = \begin{bmatrix} 99982 & 249970 & 599926 & 999890 & 1299888 \\ 1999863 & 149985 & 499952 & 899905 & 1199912 \\ 1899873 & 349965 & 749908 & 1049923 & 399946 \\ 699954 & 1399922 & 300009 & 999974 & 699973 \\ 99979,48 & 149986,35 & 349962,98 & 399944,22 & 300007,48 \\ 699959,82 \end{bmatrix}$$

Matriz P

A matriz dos pesos foi formada seguindo o seguinte critério:

Geodímetro - foi considerado o erro médio quadrático de u'a medida, definido pelos fabricantes do instrumento [1]

$$M = \pm 5 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$$

E a formação dos elementos da matriz dos pesos, a partir da expressão:

$$1/M^2$$

onde  $M^2$  é a variância.

Invar - foi calculada a variância média de um comprimento de fita, oriunda do conjunto de medidas efetuadas para o presente trabalho, a partir da expressão:

$$\sigma^2 = \frac{vv}{m(n-1)}$$

onde

vv - representa a soma dos quadrados dos resíduos em relação a média.

m - o número de comprimentos da fita.

n - o número de medições

e que forneceu o valor:

$$\sigma^2 = 0,2037 \text{ mm}^2$$

E os elementos da matriz dos pesos, formada a partir da expressão:

$$4/n \sigma^2$$

onde n representa o número de comprimentos de fita de 50 m utilizado em cada intervalo, e 4 é o número de medidas efetuadas em cada lance, ou no presente trabalho, número de fitas utilizadas.

Consequentemente, os elementos da diagonal (por serem as medidas independentes entre si) da matriz dos pesos são:

0,03845	0,03628	0,03189	0,02778	0,02520
0,02041	0,03770	0,03306	0,02873	0,02601
0,02100	0,02911	0,03025	0,02732	0,03429
0,03078	0,02441	0,03560	0,02778	0,03078
9,818	6,546	2,895	2,455	3,273
1,403				

### Solução

Com as matrizes indicadas anteriormente, e resolvendo o sistema das equações normais utilizando a expressão (8.4), foi obtida a matriz:

$$X = \begin{bmatrix} 0,50905 \\ 0,42188 \\ 0,11918 \\ 0,58642 \\ 0,65803 \\ 0,39623 \\ 5,10711 \end{bmatrix}$$

que permitiu a obtenção dos valores ajustados dos parâmetros ,  
através da (8.5) :

1-2	$x_{a1} =$	99979,509	mm
2-3	$x_{a2} =$	149986,422	
3-4	$x_{a3} =$	349963,119	
4-5	$x_{a4} =$	399944,586	
5-6	$x_{a5} =$	300007,658	
6-7	$x_{a6} =$	699960,396	

Nova constante do geodímetro:

$$x_{a7} = - 128 + 5,107 = - 123 \text{ mm}$$

Matriz variância - covariância dos parâmetros a  
justados ( $\Sigma_{x_a}$ )

A expressão (8.7) permitiu obter o valor da va  
riância da unidade de peso:

$$\sigma_0^2 = 1,222$$

que aplicada à expressão (8.8) forneceu os valores das variân  
cias das distâncias ajustadas:

$$\begin{aligned} \sigma_{x1}^2 &= 0,12283 \text{ mm}^2 \\ \sigma_{x2}^2 &= 0,18222 \\ \sigma_{x3}^2 &= 0,41201 \\ \sigma_{x4}^2 &= 0,46721 \\ \sigma_{x5}^2 &= 0,35714 \\ \sigma_{x6}^2 &= 0,81313 \\ \sigma_{x7}^2 &= 2,19210 \end{aligned}$$



Depois do ajustamento existe uma correlação linear entre as variáveis, portanto covariâncias, e a variância do comprimento total da base é dada por:

$$\sigma^2_{\text{comprimento total}} = G \Sigma_{X_a}^* G^T$$

onde

$G$  - é a matriz (vetor) representativa da correlação linear.

$\Sigma_{X_a}^*$  - matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados, sem considerar os valores referentes a variância e covariâncias da correção à constante do geodímetro.

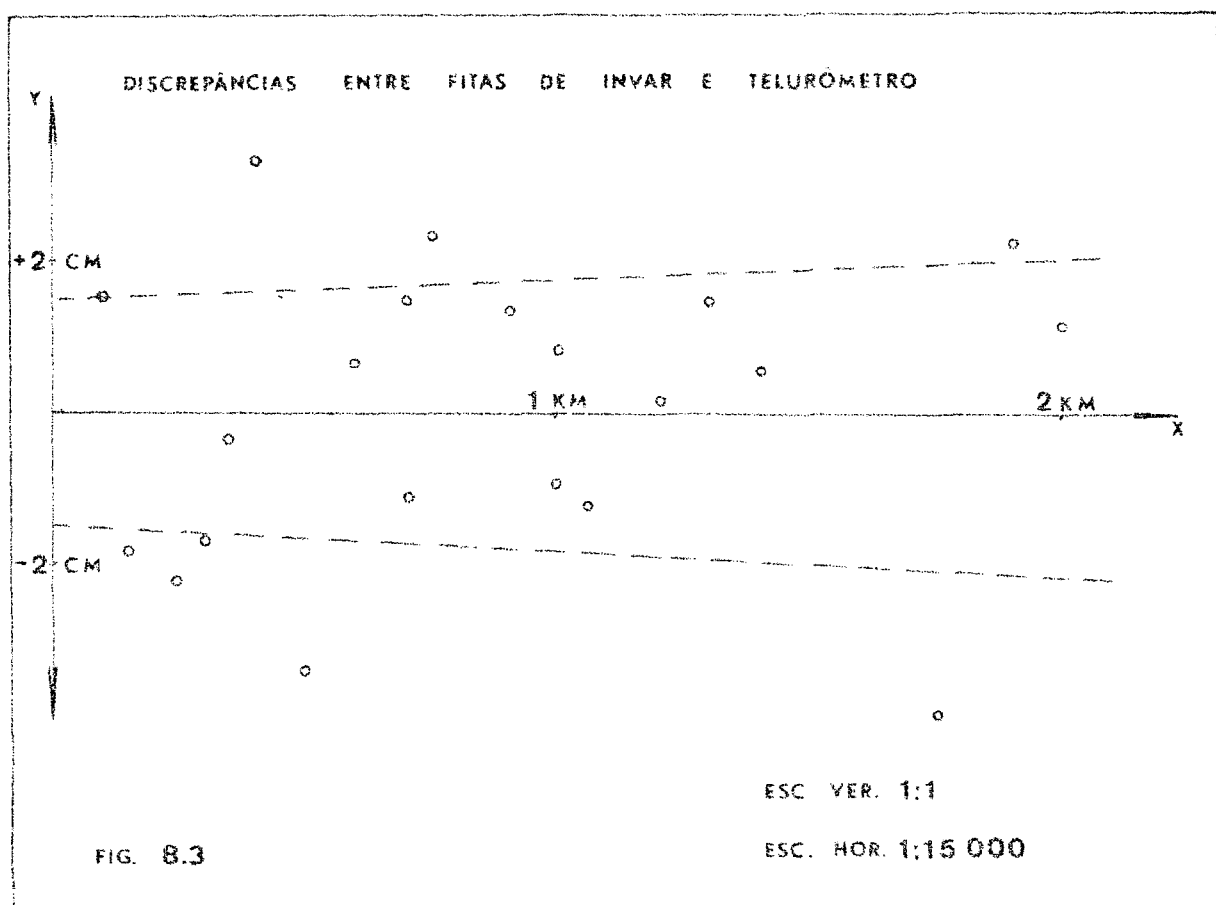
E a variância para o comprimento total:

$$\sigma^2 = 2,30740 \text{ mm}^2$$

## 2 - TELURÔMETRO (distâncias sobre a base)

As medidas efetuadas com telurômetro apresentaram, da mesma maneira que no caso do geodímetro, uma tendência proveniente de erro na constante.

Utilizando o mesmo programa já desenvolvido para o geodímetro, foi possível definir uma correção de + 2,45 cm para a sua constante definida em fábrica, e as discrepâncias apresentadas estão indicadas na figura 8.3.



### 3 - DISTOMAT DI-10 (distâncias sobre a base)

Como pode ser verificado pelos resultados obtidos na definição das distâncias, o equipamento utilizado apresentou defeito, pois as discrepâncias são absurdas, em relação à precisão normal, definida pelos fabricantes, razão pela qual as medições não foram consideradas.

### 4 - TELURÔMETRO (diferença de distâncias)

As distâncias da estação afastada aos vértices da base, permitem traçar um gráfico das diferenças de distâncias, que deveria reproduzir as medidas obtidas com fitas de Invar, dentro de certos intervalos.

Como foi mencionado na introdução, o processo das diferenças de distâncias, principalmente no caso do

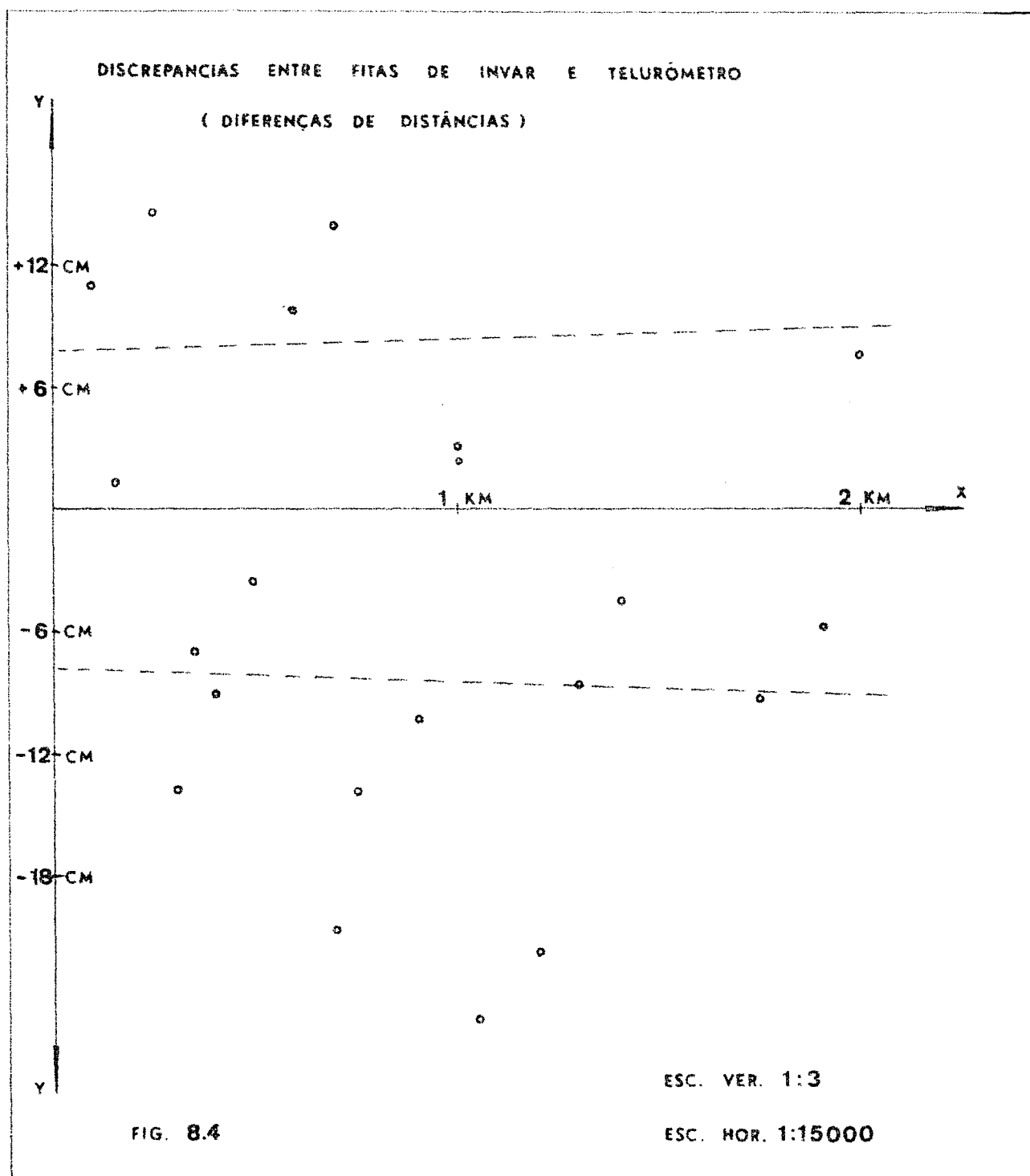
telurômetro, permite uma verificação da influência das condições externas, em particular, das condições meteorológicas.

Como o número de medições efetuadas foi pequeno, somente foi feita a indicação das discrepâncias entre as diversas distâncias na figura 8.4.

Na mesma figura, as duas linhas pontilhadas indicam as máximas discrepâncias que deveriam ocorrer, considerando o erro médio quadrático de u'a medida definido pelo fabricante.

Como pode ser verificado pelo gráfico, aproximadamente 50% das diferenças de distâncias estão contidas nos traços limites, ao passo que, na figura 8.3, que trata das distâncias curtas, aproximadamente 75% das medidas estão contidas no intervalo preconizado pelo fabricante.

As operações de medição sobre a base, ou a partir da estação afastada, foram feitas com o mesmo equipamento, os mesmos operadores e a mesma técnica de medição; e a diferença de 25% sobre as porcentagens indicadas acima, somente podem ser explicadas pelo desconhecimento das verdadeiras condições atmosféricas entre a base e a estação afastada.



## IX - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### Conclusões

1 - Com o conjunto de operações realizadas para o presente trabalho, foi possível definir uma base para verificação e aferição, em particular, de distanciômetros eletrônicos.

2 - O processo usado para o ajustamento das distâncias, utilizando medidas obtidas com equipamentos totalmente distintos (medições diretas e indiretas) proporciona um alto grau de confiança nos resultados.

3 - A implantação dos marcos em terreno público permite a sua utilização por qualquer entidade governamental ou privada, no sentido de proceder a uma verificação em equipamento eletrônico de medição de distâncias, de qualquer espécie.

4 - Em geral, os pequenos erros nas medidas obtidas não são constatados na medição de poligonais fechadas ou enquadradas pois, no primeiro caso, podem apresentar uma tendência sistemática que não é identificada pelo cálculo; e, no segundo caso, dificilmente o calculista tem em mãos todos os dados de campo e de escritório, dos elementos do trabalho anterior, aos quais a poligonal está amarrada, razão pela qual a solução adotada é, em geral, a mais conveniente à apresentação dos resultados.

5 - As operações de medição utilizando equipamento que tem a luz como onda portadora, apresentam, resultados excelentes; mas, em contra partida, são de uso bastante difícil em distâncias longas, caso em que as leituras somente são

possíveis em boas condições atmosféricas.

6 - As operações de medição, utilizando micro-ondas como onda portadora, mesmo apresentando uma menor precisão, são plenamente justificadas pela facilidade de medição em, praticamente, qualquer distância e quaisquer condições atmosféricas.

7 - As medições com infra-vermelho como onda portadora, em particular o Distomat DI-10 usado na experiência, apresentam, como vantagem preponderante, a rapidez e a facilidade de operação do equipamento, apresentando, da mesma maneira que os equipamentos a base de luz, dificuldade na medição de distâncias maiores, se as condições atmosféricas não forem ideais.

#### Recomendações

1 - Que as organizações oficiais ou particulares efetuem verificações periódicas em seus equipamentos, pelo menos uma vez por ano, ou antes do início de qualquer campanha de campo.

2 - Constatada alguma diferença nas distâncias, efetuem uma série completa de medidas, com a qual pode ser definida uma correção à constante do equipamento, quando for o caso.

3 - O C.E.P.G. (Centro de Estudos e Pesquisas de Geodésia) constitua uma equipe, supervisionada pelos professores do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, para efetuar as verificações dos equipamentos de entidades interessadas, através de contratos com a Universidade Federal do Paraná.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - AGA geodimeter modelo 6 A; operating manual.  
AGA Publication, Lidingö, 571/071.
- [2] - BERGSTRAND, Erik. Measurement of distance by high frequency light signalling, Bulletin Géodésique.  
11: 81 - 92, 1949.
- [3] - BRASIL. Diretoria do Serviço Geográfico. Cálculos Geodésicos: nivelamento trigonométrico.  
Rio de Janeiro, 1959.
- [4] - BRASIL. Diretoria do Serviço Geográfico. Nivelamento Geométrico: manual técnico. Rio de Janeiro, 1960.
- [5] - DISTANCIÔMETRO infrarrojo Distomat Wild DI 10,  
instrucciones para el empleo. Heerbrugg, Wild, 1971.
- [6] - GEMAEL, Camil. Aplicações do cálculo matricial em geodésia: ajustamento de observações. Curitiba, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1974.
- [7] - GOSSET, F.R. Manual of geodetic triangulation.  
Washington, D.C., Coast and Geodetic Survey, 1950.  
p. 193-236, 289-92 [special publication, 247].
- [8] - INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFIA E HISTÓRIA. Manual de levantamentos geodésicos. Washington, D.C., Army Map Service, 1950.
- [9] - INSTRUCTION manual for the operation and maintenance of the tellurometer model MRA-101. Cape, South Africa, Tellurometer, 1965.

- [10] - JORDAN; EGGERT; KNEISSL. Handbuch der Vermessungskunde.  
10 ed. Stuttgart, Metzler, p. 520-33.
- [11] - MEADE, B.K. Precision in electronic distance measuring.  
Surveying and Mapping, 32 (1): 69-78, mar. 1972.
- [12] - SAASTAMOINEN, J.J. Surveyor's guide to eletromagnetic  
distance measurement. Toronto, University, 1967.
- [13] - STRASSER, G.J. The Wild DI-10 Distomat Infrared  
Distancer and its underlying principles, Survey  
Review. 20 (154): 173-82. 1969.
- [14] - UOTILA, Urho. Introduction to Adjustment Computations  
with Matrices. Columbus, Ohio State University -  
Dept. Geod. Sc., 1967.
- [15] - WADLEY, T.L. Electronic principles of the tellurometer.  
The Transactions of the South African Institute of  
Electrical Engineers, 49 (5): 143-61 may 1958.